



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO**  
**CAMPUS BAIXADA SANTISTA**  
**ENGENHARIA DE PETRÓLEO E RECURSOS RENOVÁVEIS**

LUIS ANTONIO POLACI DA SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO TRANSPORTE DE DIESEL A  
PARTIR DE DIFERENTES MODAIS**

SANTOS - SP

2021

LUIS ANTONIO POLACI DA SILVA

# **ANÁLISE DA VIABILIDADE DO TRANSPORTE DE DIESEL A PARTIR DE DIFERENTES MODAIS**

Trabalho de conclusão de curso, realizado  
para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia de Petróleo na Universidade  
Federal de São Paulo, UNIFESP.

Orientador: Prof. Dr. Cledson Akio Sakurai

SANTOS - SP

2021

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço...

A Deus por ter tornado tudo isso possível.

Aos meus pais e a minha namorada por sempre estarem ao meu lado e por terem me ajudado, sem medir esforços, em tudo que precisei.

Aos meus amigos e colegas que fizeram parte dessa trajetória e tornaram cada momento especial.

A toda equipe técnica do Instituto do Mar da UNIFESP.

Aos professores por todo o conhecimento fornecido.

Ao professor Cledson Akio Sakurai por ter aceitado me orientar e que com muita dedicação me ajudou no desenvolvimento deste trabalho.

Ficha catalográfica elaborada por sistema automatizado  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586a Silva, Luis Antonio Polaci da.  
ANÁLISE DA VIABILIDADE DO TRANSPORTE DE DIESEL A  
PARTIR DE DIFERENTES MODAIS. / Luis Antonio Polaci  
da Silva; Orientador Cledson Akio Sakurai;  
Coorientador . -- Santos, 2021.  
58 p. ; 30cm

TCC (Graduação - Engenharia de Petróleo) --  
Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo,  
2021.

1. Logística. 2. Transporte de Diesel. I. Sakurai,  
Cledson Akio, Orient. II. Título.

CDD 665.5

## RESUMO

O comércio se desenvolveu progressivamente desde o início dos tempos, permitindo o surgimento de inúmeros produtos. Entretanto, mesmo com grande volume ou diversidade de itens, é necessário ter atenção à logística para garantir o fornecimento em tempo e preço adequados. O modo de transporte é um ponto particularmente importante nesse sentido, uma vez que cada modal apresenta uma forma de operação bem como vantagens e desvantagens específicas. No Brasil, o modal rodoviário é amplamente utilizado inclusive no deslocamento de cargas como o diesel. Este último que além de ser uma das principais cargas existentes, é também o combustível responsável por sustentar a estrutura nacional de transporte. Em 2018, a greve dos caminhoneiros no Brasil, que interrompeu o fornecimento de diversos produtos (inclusive de diesel), demonstrou a relevância e dependência atual do modal rodoviário, assim como a necessidade de redução de preço do combustível. Curiosamente, na época, a cidade de Bauru continuou sendo abastecida com diesel, pois o fornecimento do mesmo era realizado diretamente pela REPLAN (Refinaria de Paulínia) por meio de ferrovias. Tendo como cenário o percurso mencionado, o presente trabalho tem como objetivo determinar a forma de transporte de diesel que acarrete o menor custo final. Inicialmente será mostrada a pesquisa bibliográfica realizada, caracterizando os modais rodoviário, ferroviário e dutoviário quanto aos seus custos, capacidade e tempo de transporte. Com base nesses dados, será determinado, em seguida, a partir de análise documental, em qual caso o transporte foi mais rápido e econômico.

**Palavras-Chave:** Diesel; Transporte; Redução de custos; Modal rodoviário; Modal ferroviário; Modal dutoviário.

## **ABSTRACT**

The trade has been progressively developed since the beginning of time, allowing the emergence of countless products. However, even with the high quantity and diversity of items, it's necessary to pay attention to the logistics and providing the supply at the correct price and time. About it, the mode of transport is extremely important because each modal has a particular way to operate as well as its own advantages and disadvantages. In Brazil, road transportation is widely used to move cargoes, and it includes the transport of diesel. This fuel is one of the most important existing cargoes and it's responsible to sustain the national chain of transport. In 2018, a truckers strike in Brazil, which had cut the supply of several products (including the diesel), have shown the relevance and the present dependence of the road modal as well as the necessity of fuel price reduction. Curiously, at the same time, the city of Bauru had kept its diesel fill because the supply of the fuel had been made directly from the REPLAN (Refinery of Paulínia) through railways. Using the mentioned trajectory, this coursework has as objective the determination of the way to transport diesel that results in the lowest final cost. At the beginning, it'll be showing the bibliographic research, relating the road, rail and pipe modals through their costs, capacity and transport time. Through this database and a documental analysis, it'll be setting what type of transport is fastest and cheapest.

**Key Words:** Diesel; Transport; Cost reductions; Road modal; Rail modal; Pipeline modal.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

**Figura 1:** Esquema de refino de petróleo da REPLAN.

**Figura 2:** Criação e expansão das linhas férreas de 1854 a 1929.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ANP:** Agência Nacional de Petróleo

**CTB:** Código de Trânsito Brasileiro

**CV:** Cavalos de potência

**FAO:** *Food and Agriculture Organization*

**EUA:** Estados Unidos da América

**IDH:** Índice de Desenvolvimento Humano

**H:** Horas

**KM:** Quilômetros

**KM/H:** Quilômetros por Hora

**KW:** Kilowatt

**KWh:** Kilowatt hora

**M<sup>3</sup>:** Metros Cúbicos

**REPLAN:** Refinaria de Paulínia

**SP:** São Paulo

**W:** Watt



## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Custos associados ao transporte de diesel de Paulínia até Bauru através do modal rodoviário.

**Tabela 2:** Custos associados ao transporte de diesel de Paulínia até Bauru através do modal ferroviário.

**Tabela 3:** Custos associados ao transporte de diesel de Paulínia até Bauru através do modal dutoviário.

**Tabela 4:** Variáveis iniciais propostas para o 1º Cenário.

**Tabela 5:** Gastos com transporte para o 1º cenário.

**Tabela 6:** Variáveis iniciais propostas para o 2º Cenário.

**Tabela 7:** Gastos com transporte para o 2º cenário.

**Tabela 8:** Custos de estrutura ferroviária para o 3º Cenário.

**Tabela 9:** Variáveis iniciais propostas para o 4º Cenário.

**Tabela 10:** Gastos com transporte para o 4º cenário.

**Tabela 11:** Custos de estrutura dutoviária para o 5º Cenário.

**Tabela 12:** Custos gerados em cada cenário.

**Tabela 13:** Vazões obtidas em cada cenário.

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO REALIZADO</b>	<b>13</b>
1.1. Apresentação do Tema	13
1.2. Objetivos	13
1.3. Objetivos Específicos	13
1.4. Metodologia	14
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
2.1. Caracterização dos Locais	15
2.1.1. Cidade de Paulínia	15
2.1.2. REPLAN	15
2.1.3. Cidade de Bauru	17
2.1.4. Trajeto	17
2.2. Caracterização dos Modais	18
2.2.1. Modal Rodoviário	18
2.2.2. Modal Ferroviário	19
2.2.3. Modal Dutoviário	22
2.3. Caracterização das Estruturas	23
2.3.1. Estrutura Ferroviária	23
2.3.1.1. <i>Superestrutura Ferroviária</i>	23
2.3.1.2. <i>Infraestrutura Ferroviária</i>	24
2.3.2. Estrutura Dutoviária	25
2.4. Determinação dos Custos	25
2.4.1. Custos do Modal Rodoviário	26
2.4.2. Custos do Modal Ferroviário	28
2.4.3. Custos do Modal Dutoviário	30
<b>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS</b>	<b>35</b>
3.1. Análise de Cenários	35
3.1.1. Análise do 1º Cenário	35
3.1.2. Análise do 2º Cenário	37
3.1.3. Análise do 3º Cenário	40
3.1.4. Análise do 4º Cenário	41
3.1.1. Análise do 5º Cenário	44
3.2. Comparação entre Cenários	46
3.2.1. Comparação de Custos	46
3.2.2. Comparação de Vazões	48
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>52</b>

## INTRODUÇÃO

A revolução industrial permitiu o surgimento do fenômeno da globalização, que, por sua vez, possibilitou a interconexão entre países, gerando progressivamente maior difusão de culturas e informações, bem como um desenvolvimento comercial sem precedentes [1]. Com mercados consumidores cada vez maiores e distantes, foram necessárias mudanças relacionadas ao transporte de carga, visando, dentre outras melhorias, a otimização da capacidade de transporte, aumento da velocidade assim como redução de custos associados ao processo [2]. A mesma linha de raciocínio foi seguida pelo setor industrial, que, por sua vez, direcionou-se para um melhor desenvolvimento científico e tecnológico, visando uma produção mais eficiente, barata e veloz [3,4].

Séculos após o fim da primeira revolução industrial, a tendência de melhoria logística e operacional ainda perdura nos dias atuais. O vapor utilizado para o movimento de embarcações e locomotivas assim como o carvão utilizado nas máquinas foram substituídos gradativamente pelo diesel. A implementação deste novo combustível permitiu menor consumo do motor, operações sob baixas temperaturas, maior potência e menor emissão de gases de efeito estufa [5]. As vantagens acerca do uso do diesel também estenderam-se para aspectos políticos e econômicos, dado que o combustível começou a ser essencial em determinados setores como agricultura, energia, transporte militar, construção, mineração, entre outros [5,6].

Além do combustível utilizado, o desenvolvimento logístico ocorreu diante de mudanças significativas quanto aos modais utilizados, principalmente com relação ao transporte de cargas. Nesse sentido, observa-se que cada país adquiriu sua própria estratégia logística de acordo com determinados fatores geográficos e econômicos como extensão territorial, tipo de carga, geografia do local, entre outras [7-9]. Sendo assim, ainda que haja bastante liberdade quanto a escolha de tais estratégias, é certo que as mesmas podem ser mais, ou menos, eficazes de acordo com o cenário pré-existente no país.

No panorama brasileiro atual, é notável a predominância do modal rodoviário dado o tamanho da frota de caminhoneiros, a extensão da malha rodoviária, além deste ser responsável por movimentar mais da metade das cargas internas [10]. Em contrapartida, alguns autores apresentam tal situação como um resultado do subaproveitamento dos demais modais [8,9,11,12]. A título de comparação, a

extensão da malha ferroviária equivale a aproximadamente 30.000 km contribuindo para o transporte de 15% das cargas nacionais [11], números muito inferiores quando observados da perspectiva rodoviária. A mesma situação é vista para o modal dutoviário, dado que a extensão total de dutos de petróleo e derivados no país correspondem a 9.600 Km e a carga transportada representa apenas 4% do total [11,13]. De modo geral, observa-se que países de grandes dimensões apresentam uma alta participação de ferrovias e de sistemas aquaviários no transporte de suas cargas por serem considerados adequados para longas distâncias, resultando em um menor protagonismo do sistema rodoviário bem como uma atuação mais equilibrada dos demais modais [8,9]. Para exemplificar, nos Estados Unidos (EUA) as ferrovias e dutovias possuem um papel mais importante em comparação ao Brasil, uma vez que a extensão da malha atinge 296.000 Km e a movimentação de cargas equivale a 43% no sistema ferroviário, e passa para 240.000 Km e 20% da movimentação no que toca ao sistema dutoviário [8,13]. Junior [8] acrescenta que sem a infraestrutura ferroviária dos EUA, o PIB do país seria de 10% a 20% inferior ao apresentado no final da década de 60. Falcão [9] acrescenta que os gargalos decorrentes de indisponibilidade de vagões, operação em baixa velocidade, falta de investimentos, entre outros, desincentivam a implementação adequada do setor ferroviário, fazendo com que o Brasil não aproveite as vantagens do modal ainda que a extensão territorial do país bem como os tipos de cargas em circulação sejam adequados a essa forma de transporte.

Além do baixo desenvolvimento de determinados modais, a estrutura logística atual do Brasil apresentou um recente momento de instabilidade com a greve dos caminhoneiros. No episódio citado, em maio de 2018, o aumento do preço do diesel levou caminhoneiros a iniciarem uma paralisação em todo país, interrompendo o fornecimento de diversos produtos como alimentos, medicamentos, combustível, entre outros [14]. Curiosamente, no mesmo período, o município de Bauru não sofreu tantos prejuízos com o ocorrido, pois parte de seu combustível é obtido diretamente da Refinaria de Paulínia (REPLAN) através de ferrovias [15]. Como consequência, a população do município e seus arredores sofreram menos prejuízos com a greve dos caminhoneiros se comparada com as demais cidades.

No cenário atual, a maior eficiência da estrutura logística pode ser vista no menor custo final do produto, menor tempo de locomoção, entre outros aspectos. Mais especificamente na perspectiva nacional, tal eficiência deve ser aprimorada para que o transporte de diesel resulte em custos ainda menores no produto final,

uma vez que até 15% do custo do combustível é decorrente da etapa de transporte [16]. Com isso, o presente trabalho visa determinar a forma de transporte de diesel mais eficaz, considerando como meios de transporte os caminhões, trens e dutos e como trajeto de análise o percurso da REPLAN até o município de Bauru.

# **CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO REALIZADO**

Neste capítulo serão apresentadas as propostas para este trabalho, sendo descrito o tema do mesmo, assim como as estratégias e ideias escolhidas para a sua execução e obtenção de resultados.

## **1.1. Delimitação do Tema**

Tendo como base a REPLAN e o município de Bauru, assim como a distância entre ambos, o presente trabalho inicia-se em uma pesquisa bibliográfica, cujo foco é a apuração de dados referentes às características e os custos do transporte de diesel a partir de diferentes modais, e é sucedido por uma análise documental, na qual os dados levantados servirão de base para a determinação de formas mais econômicas de transporte do combustível.

## **1.2. Objetivo**

O objetivo geral deste trabalho é a determinação do modo de transporte de Diesel mais econômico quando transportado desde a REPLAN até a cidade de Bauru, ou seja, a organização logística que produza menor custo de transporte, possibilitando assim um preço final mais baixo para o combustível.

## **1.3. Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho incluem:

- Delimitar a distância entre a REPLAN e a cidade de Bauru seja por rodovias, ferrovias ou através de dutos;
- Levantar, para todos os modais propostos, características de transporte e os custos associados;
- Identificar uma conformação logística que apresente menor custo quanto ao transporte do diesel;
- Identificar uma conformação logística que apresente maior velocidade de entrega do diesel.

## **1.4. Metodologia**

A proposta metodológica deste trabalho de conclusão de curso se inicia na revisão bibliográfica durante a coleta de dados e análise de cenários para identificar situações em que há maior redução de tempo e de custos associados ao transporte de diesel. Na coleta de dados, as variáveis de interesse serão, para cada modal proposto, a capacidade de transporte, custo por unidade de quilômetro percorrido, velocidade média de transporte, custo de implementação de novas estruturas para o caso do transporte ferroviário e dutoviário. Na análise de cenários, a partir dos dados coletados, serão feitas diferentes simulações para o transporte de diesel, desde a REPLAN até as revendedoras presentes na cidade de Bauru, visando avaliar em quais situações existe maior vantagem em relação ao custo e ao tempo.

As propostas de locomoção a serem analisadas são:

- REPLAN → Caminhão → Revendedora em Bauru;
- REPLAN → Trem → Estação → Caminhão → Revendedora em Bauru;
- REPLAN → Dutovia → Terminal → Caminhão → Revendedora em Bauru.

A segunda e a terceira proposta possuirão duas versões, sendo considerado, em um primeiro instante, apenas o transporte do diesel como agregador de custos, contudo, em um segundo caso, além do transporte será levado em conta o custo da infraestrutura necessária sobre o preço do combustível.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo será apresentada toda a pesquisa bibliográfica realizada, de modo a caracterizar: Os locais do estudo, incluindo a distância e os percursos que interligam os mesmos, com a finalidade de compreender como se dá a produção do diesel, a forma que o mesmo é recebido em Bauru, dentre outros aspectos logísticos; Os modais rodoviário, ferroviário e dutoviário perante as suas características de transporte, principalmente no que se refere ao deslocamento de diesel; Os gastos decorrentes do transporte de diesel, tanto com relação aos gastos intrínsecos decorrentes da locomoção quanto aqueles provenientes da construção de estruturas necessárias ao transporte.

### **2.1. Caracterização dos Locais**

#### **2.1.1. Cidade de Paulínia**

A cidade de Paulínia destaca-se pelo seu nível de desenvolvimento em todo o estado de São Paulo. Além de ter um dos maiores PIB *per capita* do país, o município de 512 mil habitantes possui alto nível de escolarização, baixa mortalidade infantil e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) municipal próximo de 0.795, colocando Paulínia como uma cidade de alto desenvolvimento [17].

Um dos fatores importantes para o desenvolvimento da cidade e, sobretudo na renda municipal, é a presença da REPLAN que contribui com a cidade não só gerando empregos, mas também por meio de pagamentos de impostos, sendo estes dados na ordem de bilhões de reais [18].

#### **2.1.2. REPLAN**

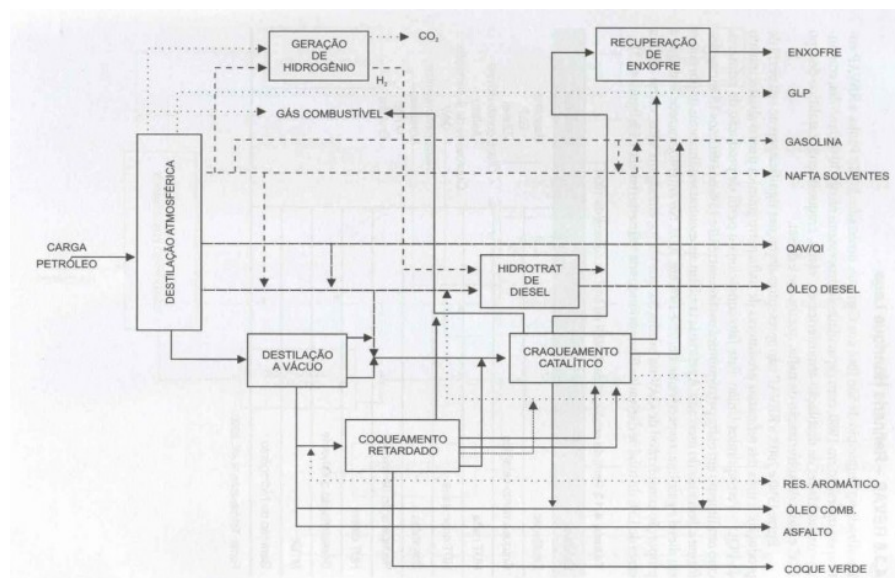
A Refinaria de Paulínia, também chamada de REPLAN, está situada na cidade de Paulínia, no estado de São Paulo (SP) e é a maior refinaria nacional em termos de produção, gerando 20% de todos os derivados de petróleo produzidos em território brasileiro e atendendo mercados consumidores de diversas regiões do país [19].

Em termos mais específicos, a localização da refinaria é a Rodovia SP 332, Km 130, bairro Bonfim, sendo considerada estratégica logisticamente dado que está



a 118 Km da capital do estado, com acesso às principais vias de transporte e terminais aéreos paulistas. Além disso, a refinaria possui conexões dutoviárias com terminais da Petrobras localizados em São Sebastião, Guararema e Barueri, sendo que, dos dois primeiros, a refinaria recebe óleo bruto, e para o terminal de Barueri, a refinaria fornece produtos claros e óleo combustível [19]. As interligações ferroviárias constituem outro aspecto estratégico da REPLAN, visto que a mesma está interligada com o terminal da Petrobras Distribuidora bem como as distribuidoras do Pool Paulínia, que realizam o transporte de óleos claros produzidos desde a refinaria até os terminais secundários presentes no centro oeste e interior paulista [18, 19].

Com relação a produção, a REPLAN realiza praticamente todas as suas atividades a partir de petróleo nacional, sendo a maior parte proveniente da Bacia de Santos. A capacidade de processamento equivale a 69 mil m<sup>3</sup> por dia, sendo gerado não apenas diesel, mas também gasolina, querosene de aviação (QAV), gás liquefeito de petróleo (GLP), asfalto, nafta, propeno, entre outros derivados [19]. O terreno utilizado apresenta cerca de 9.1 de km<sup>2</sup> e os equipamentos da refinaria assim como os processos realizados durante o refino encontram-se na imagem abaixo [20]:



**Figura 1:** Esquema de refino de petróleo da REPLAN.

Conforme é visto na Figura 1, a etapa inicial para a produção de diesel é dada no momento em que a carga de petróleo bruto é encaminhada para a unidade de destilação atmosférica. A destilação atmosférica atinge picos de temperatura equivalentes a 430 °C, o que já é o suficiente para vaporizar a fração de diesel existente no petróleo bruto, visto que sua faixa de ebulição se situa entre 190 e 350

°C por conta do tamanho de sua cadeia carbônica, que pode variar de 12 a 20 carbonos [21]. Em seguida, a fração gasosa de diesel segue para o processo de hidrotratamento, cujo objetivo é, através do uso de um catalisador, propiciar a remoção de impurezas tais como nitrogênio, compostos de cloro, parafinas, metais, entre outros [21]. Para essa refinaria especificamente, a produção de diesel alcança 1 bilhão de litros por mês, fazendo com que esse seja o principal produto gerado na REPLAN [18].

#### 2.1.3. Cidade de Bauru

A cidade de Bauru é conhecida por ser a mais populosa do centro oeste paulista, com aproximadamente 344 mil habitantes. Em relação aos dados municipais, destaca-se o IDH que está próximo de 0,801, o que a classifica como uma cidade de desenvolvimento muito alto [22].

Um ponto estratégico da cidade é a sua estrutura logística, dado a existência de rodovias importantes que permitem conexão com diversas cidades, inclusive a capital do estado, além de uma estrutura ferroviária bem desenvolvida, que chegou a ser, no século passado, um dos maiores entroncamentos ferroviários existentes país [23, 24].

A presença de um forte setor comercial bem como de diversas empresas e indústrias mostra que a cidade apresenta um setor econômico bem desenvolvido. Na parte industrial, nota-se, dentre outras atividades, a presença de distribuidoras secundárias, que recebem e armazenam os combustíveis que chegam na cidade, antes que sejam encaminhados para os postos municipais ou para localidades vizinhas.

#### 2.1.4. Trajeto

O transporte de diesel realizado da REPLAN para Bauru se dá justamente por esta ser a refinaria mais próxima da cidade. Atualmente, é possível levar a carga tanto por rodovia quanto por ferrovia, sendo que as distâncias correspondem a aproximadamente 248 e 297 km, respectivamente.

Para este trabalho, será também considerado um suposto transporte por dutovias e, para tal, tanto o trajeto quanto a distância serão iguais a do transporte ferroviário.

## **2.2. Caracterização dos Modais**

### **2.2.1. Caracterização do Modal Rodoviário**

O modal rodoviário é representado pela forma de transporte realizada através de ruas, estradas e rodovias, no qual os veículos normalmente utilizados são carros, ônibus ou caminhões, sendo os dois primeiros dedicados à locomoção de pessoas e o último com foco na distribuição de cargas.

No Brasil, o desenvolvimento das estruturas de transporte rodoviário é marcado por uma sobreposição ao antigo modal ferroviário. Segundo Lopes [25], já nas primeiras décadas do século XX, foram implementadas as primeiras medidas no país que favoreceram a amplificação do transporte rodoviário, como a fundação do Automóvel Clube do Brasil, a criação de fundos e órgãos responsáveis pela construção e conservação de estradas bem como a primeira ação planejada com o intuito de criar um sistema de estradas no Nordeste. Contudo, a década de 40 marca o início da Era Rodoviária no país, ocorrendo, assim, uma intensa priorização em rodovias. Tal preferência teve diversas motivações como por exemplo, a criação da Petrobrás em 1953, a busca das empresas automobilísticas europeias e dos EUA por um mercado externo, ou mesmo o arrefecimento do setor ferroviário [25,26].

No cenário brasileiro atual, o modal rodoviário é composto por 3,3 milhões de veículos de transporte de carga, possui malha com extensão próxima de 1.7 milhão de quilômetros e é responsável por movimentar 61.1% da quantidade total de cargas [10]. Porém, no que tange a infraestrutura, existem limitações visto que somente 213 mil km das vias apresentam pavimentação adequada [10,27].

Dentre as vantagens encontradas neste modal, pode-se mencionar [28]:

- Por conta do tipo de infraestrutura, apresenta flexibilidade de trajeto.
- Possibilidade de transporte porta a porta.
- Adequação aos tempos demandados.
- Frequência e disponibilidade para os serviços.
- Pode transportar cargas em qualquer estado físico.
- Apresenta sinergia com os outros modais.

Com relação às desvantagens deste modal, é possível mencionar [28]:

- Capacidade de carga limitada por viagem.
- Transporta menor quantidade de carga por unidade de energia consumida.
- Alto custo de operação e manutenção dos automóveis.
- Maior risco de acidentes.
- Possibilidade de atraso na entrega por congestionamentos.
- É o mais poluente quando comparado ao sistema ferroviário e aquaviário.

Segundo Barreto et al. [27], o caminhão tanque é o meio de transporte mais adequado no transporte de derivados de petróleo. Em geral, a carroceria deste é dada por um reservatório dividido em tanques, apresentando, em geral, capacidade de armazenamento de 40 m<sup>3</sup> [29]. Com relação a velocidade média, será considerado o valor de 90 Km/h, sendo essa a velocidade máxima permitida para caminhões em rodovias segundo o CTB [30].

#### 2.2.2. Caracterização do Modal Ferroviário

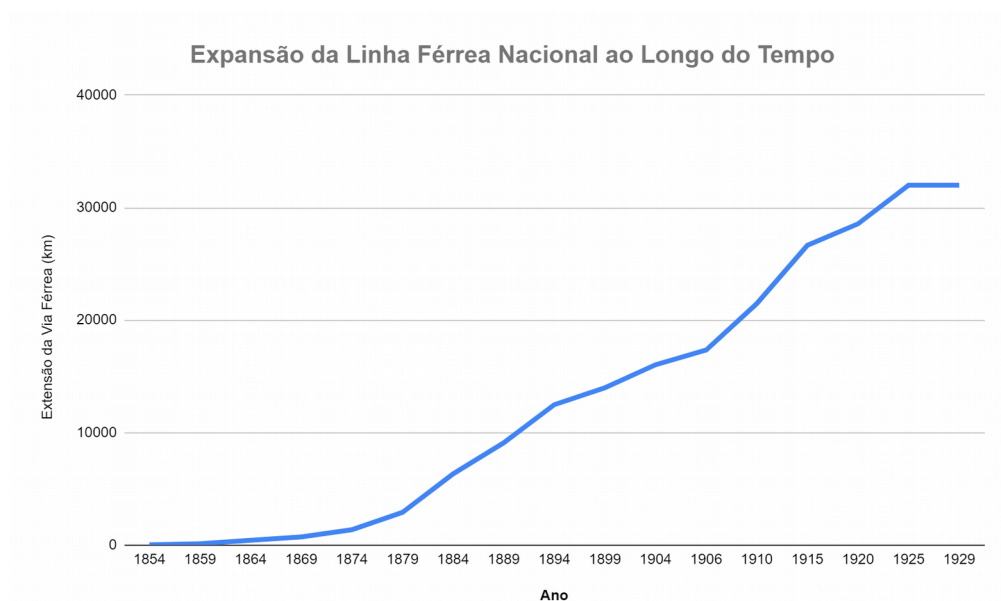
O modal ferroviário consiste na utilização de locomotivas que circulam por vias férreas compostas por trilhos, normalmente movimentadas por motor a diesel, vapor ou motor elétrico de transmissão [27].

O início do sistema ferroviário no país ocorreu efetivamente em 1854 com a inauguração da estrada de ferro Rio-Petrópolis, cujo objetivo foi de transportar pessoas e bens materiais de forma mais rápida e em maior quantidade [8]. Após a Proclamação da República, houve maior estímulo para a construção de vias férreas.

De início, foi proposto o Plano Geral de Viação Federal, que buscava ligar zonas de potencial econômico aos portos nacionais, prolongar os traçados ferroviários já iniciados e induzir a ocupação econômica e colonização às fronteiras de países vizinhos [8,31]. Contudo, conforme cita Ghirardello [31], embora o plano tenha influenciado outras construções férreas posteriormente, foi inviabilizado na época. Junior [8] menciona que, ao serem construídas, as estradas não tinham intenção de articular o território, nem de integrar as regiões remotas aos centros mais dinâmicos do país e, com isso, pequenas ferrovias dispersas e isoladas foram construídas e aos poucos foram perdendo sua viabilidade econômica ao final dos ciclos que motivaram sua construção, o que requereu a intercessão do estado para evitar a falência desses trechos.

Conforme pode ser visto na Figura 2, no ano de 1929, por conta da crise econômica ocorrida, o setor ferroviário começa a esfriar [25,31]:

**Figura 2:** Criação e expansão das linhas férreas de 1854 a 1929.



**Fonte:** Ghirardello (2002)

Conforme mencionado no tópico “2.2.1. Caracterização do Modal Rodoviário”, a partir da década de 40, houve, progressivamente, uma intensa priorização ao uso do modal rodoviário, o que culminou em uma sobreposição ao sistema ferroviário e, conseqüentemente, a falência e estatização de diversas empresas [8]. Entretanto, no final da década de 70, problemas econômicos do país, como inflação, dívida interna e externa, junto com a crise do petróleo contribuíram para que a Era Rodoviária perdesse parte de sua força, dada a redução dos investimentos do estado na expansão de estradas [25]. Ainda nesse período, inicia-se o Programa Nacional de Desestatização (PND), no qual o governo permite a concessão de ferrovias para empresas privadas. Segundo Airoidi [32], a partir da concessão da malha ferroviária para empresas privadas, o país viu uma recuperação deste modal, que gerou, nos oito anos seguintes, um aumento de 54% no volume de carga transportada.

No cenário atual, ainda que as concessões tenham contribuído para um ressurgimento do modal ferroviário, o mesmo permanece subaproveitado. Apresentando uma malha ferroviária com extensão próxima de 30.000 Km e densidade de malha igual a 3,6 Km/1000 Km<sup>2</sup> de área terrestre, esse meio de transporte movimenta 15% das cargas nacionais [11,27]. Deste carregamento, em

2019, 73% é formado por minério de ferro, sendo a maior parte do carregamento composto por minério de ferro, enquanto somente 1,8% foi dado por combustíveis, álcool e derivados de petróleo [32]. Com relação aos trilhos, cerca de 29.000 Km estão sob administração privada, sendo estes distribuídos entre três tipos de bitola: Larga, com 1,60 metros; Métrica, com 1,00 metros; Mista, que constitui uma formação similar a uma fusão entre a bitola larga e a bitola métrica [27,32].

Das vantagens encontradas neste modal, pode-se mencionar [27,30,32]:

- É considerada uma das formas mais seguras de transporte terrestre.
- Não corre risco de congestionamentos.
- Possui maior vantagem energética em comparação ao modal rodoviário.
- Consegue levar cargas volumosas e pesadas.
- O material rodante, em geral, apresenta longa duração.
- Baixos custos variáveis.

Com relação às desvantagens deste modal, é possível mencionar [27,30,32]:

- Maior dificuldade com o transbordo de cargas
- Custos fixos maiores.
- Sem flexibilidade de trajeto.
- Possui horários estabelecidos para as suas operações.
- A construção de sua infraestrutura é fortemente afetada pelas condições de terreno (presença de relevos, recursos hídricos etc.).
- Transporte lento.

Com relação ao transporte ferroviário da REPLAN até Bauru, este é realizado, em sua maioria, através da malha paulista, sob gestão da empresa RUMO. Tal malha ajuda a compor a operação Norte e é responsável pelo transporte de commodities agrícolas (soja, milho, farelo de soja e açúcar) e fertilizantes, além de produtos industriais (combustíveis, cimento, celulose, entre outros) [33].

Barreto et al. [27], menciona que o vagão tanque é o mais adequado para o transporte de derivados de petróleo em ferrovias, sendo o volume desse equivalente a 103 m<sup>3</sup> [34]. Com relação a velocidade média nas ferrovias nacionais, em 2018, este número ficou próximo de 15,42 Km/h para as ferrovias nacionais [35].

### 2.2.3. Caracterização do Modal Dutoviário

O modal dutoviário é formado por dutos responsáveis por transportar fluidos, como petróleo, derivados, gás, entre outros. Conforme cita Oliveira [13], os dutos podem efetuar o transporte das áreas de produção de petróleo (ou locais de recebimento de petróleo por navio) até as refinarias, e a partir dessas, levar produtos refinados até a proximidade dos mercados consumidores.

O primeiro duto construído no Brasil foi feito em 1942 na Bahia, cujo objetivo era interligar a Refinaria Experimental de Aratu ao porto de Santa Luzia [36]. Atualmente, o país conta com extensão próxima de 9.600 Km, sendo a maior parte concentrada na região sudeste e transportando 4% da carga nacional. Essa malha dutoviária é capaz de levar petróleo até 16 refinarias, resultando em um refino de 300.000 m³ de óleo por dia [13].

Das vantagens encontradas neste modal, pode-se mencionar [13,30,36]:

- É considerada uma das formas mais seguras de transporte de petróleo e derivados.
- Não corre risco de congestionamentos.
- Menor risco de roubos ou perdas de carga.
- Diminui o tráfego de caminhões com cargas perigosas.
- Baixos custos operacionais.
- Suprimento contínuo durante o dia.

Com relação às desvantagens deste modal, é possível mencionar [13,30,33]:

- Velocidade lenta de transporte.
- Custos Fixos Maiores.
- Sem Flexibilidade de Trajeto.
- Risco de acidentes durante as operações com as estruturas.

Sobre a capacidade de carregamento dos dutos, esta é influenciada pelo diâmetro do duto (s), pelo tempo de transporte da carga (t) e pelas características do fluido transportado, tais como densidade ( $\rho$ ) e velocidade de escoamento (v), assim como descrito abaixo [37]:

$$C = \rho \cdot s \cdot v \cdot t \quad (1)$$

Ainda sobre as variáveis relevantes, vale mencionar que outros atributos como a pressão exercida pelas bombas das estações, bem como a viscosidade e temperatura do fluido transportado causam alterações na capacidade de carregamento, uma vez que são responsáveis por modificar a velocidade [37].

Dos meios de transporte em questão, as dutovias são consideradas as mais lentas visto que a velocidade média de transporte se situa entre 2 e 10 Km/h. Entretanto, uma vez que são capazes de operar 24 horas por dia, este modal se torna uma alternativa tão interessante quanto as demais [37].

## **2.3. Caracterização das Estruturas**

### **2.3.1. Estrutura Ferroviária**

No que tange a estrutura ferroviária, esta é dividida entre superestrutura e infraestrutura, sendo a primeira composta pelos aparelhos que compõem a via férrea, enquanto a segunda visa a exequibilidade da implantação das superestruturas [38,39,40].

Abaixo serão mencionados os materiais e obras presentes na infraestrutura e na superestrutura ferroviária.

#### **2.3.1.1. Superestrutura Ferroviária**

Como mencionado anteriormente, em resumo, a superestrutura é constituída pelos materiais que formam a pista de rolamento, sendo esses dados pelos trilhos, dormentes, acessórios e o lastro. Além de originar a via, a superestrutura ferroviária deve garantir a exata geometria da via, amortecer vibrações, garantir o escoamento da água para fora da plataforma, transmitir a carga sobre a estrutura de forma a minimizar deformações e manter o afastamento correto dos trilhos [38].

Dos constituintes da superestrutura, tem-se inicialmente o lastro, sendo este o elemento entre os dormentes e a plataforma ferroviária constituído de rochas britadas como granito, diabásio ou quartzito [39]. Sua função principal é distribuir sobre a plataforma os esforços resultantes das cargas e veículos, formar uma superfície regular para os dormentes, permitir uma boa drenagem e impedir o deslocamento transversal e longitudinal dos dormentes [39].



Acima do lastro são fixados os dormentes, sendo estes dados por peças de madeira, concreto ou metal posicionadas continuamente na via a fim de suportar os trilhos e transmitir as tensões recebidas para o lastro [38,39].

Acima dos dormentes são colocados os trilhos, sendo esses os elementos que vão funcionar como a superfície de rolamento e permitir o tráfego de trens [39]. Por permitir a passagem das locomotivas, é esperado que os trilhos sejam capazes de receber e distribuir corretamente as tensões recebidas, bem como guiar corretamente os trens ao longo da ferrovia [38,39].

Além dos elementos mencionados, são encontrados também elementos auxiliares denominados acessórios, geralmente utilizados para fazer a ligação entre o trilho e o dormente [38,40]. Deste grupo, é possível citar: Talas mecânicas, funcionando como emendas mecânicas dos trilhos; Parafusos, cuja função de apertar as talas mecânicas; Arruelas, com a função de absorver impacto assim como garantir a fixação dos parafusos nas talas; Palmilha para dormente, permitindo o aumento da área de contato entre dormente e lastro, resultando em menor quebra de lastro; Fixações elásticas, responsáveis pela absorção de vibrações [38].

#### *2.3.1.2. Infraestrutura Ferroviária*

Em relação a infraestrutura das vias férreas, conforme mencionado anteriormente, esta é projetada de modo a garantir a segurança, viabilidade e continuidade das superestruturas a serem implementadas [40]. Dos elementos que constituem a infraestrutura, pode-se mencionar: Terraplanagem, que consiste em planificar o terreno em que será realizada a obra; Drenagem, cuja função é escoar a água presente em terrenos encharcados; Obras de arte especiais, que basicamente são dadas por estruturas metálicas e concretadas formando pontes, viadutos, passagens ou passarelas [38,40].

#### *2.3.2. Estrutura Dutoviária*

A estrutura dutoviária é formada por uma série de componentes usados não apenas para conectar o ponto final ao inicial, mas também para garantir a continuidade do escoamento do produto e a integridade do sistema. Além do produto a ser escoado e das tubulações metálicas que formam o duto, é possível mencionar: Estações de reforço, sendo estas usadas para fornecer pressão dentro do tubo e

garantir o escoamento [37]; Válvulas, utilizadas para manter a pressão adequada aos dutos, impedindo a ocorrência de sobrepressurização do produto assim como o refluxo do mesmo [41]. Conforme apresentado por Liu et al. [42], além dos componentes citados, também compõem a estrutura dutoviária: Instalações de entrada, correspondendo a estação inicial do transporte dutoviário; Instalações de saída, correspondendo a estação inicial do transporte dutoviário; Equipamentos de Pigagem, sendo tal instalação necessária para fazer a limpeza da tubulação, uma vez que o carregamento de diesel tende a gerar acúmulo de resíduos [41].

No que tange a construção, os dutos podem ser classificados entre terrestres, aéreos e submarinos [37,41]. Os dutos terrestres, como o próprio nome indica, são aqueles construídos em contato com o solo, podendo ser subterrâneos, ou seja, construídos 90 cm abaixo do solo, mas também aparentes, sendo, neste caso, construídos acima do solo [37]. Os dutos aéreos são tubulações sustentadas acima do solo comumente utilizadas para transpor rios, grandes vales, pântanos, lagos ou qualquer outro obstáculo [37]. Os dutos submarinos são aqueles que são percorridos dentro do mar e geralmente levam óleo das plataformas *offshore* até as refinarias [37]. Vale destacar que, mesmo em dutos aéreos e submarinos, os terminais, junções e equipamentos de propulsão são posicionados em terra [37].

## **2.4. Determinação dos Custos**

Independente do modal utilizado, diversos custos são gerados naturalmente. Tais custos podem ser separados entre custos fixos, ou seja, aqueles que existem mesmo que o veículo não esteja sob operação, e custos variáveis, dados por aqueles que ocorrem por conta da locomoção e tendem a aumentar quanto maior a distância percorrida pela carga. Vale destacar que, conforme observado no trabalho de Freitas et al. [43], há diversas metodologias para se averiguar os custos associados a um mesmo modal. Nos tópicos abaixo serão apresentados os custos existentes de acordo com cada modal proposto.

### **2.4.1. Custos do Modal Rodoviário**

Segundo Kruger et al [44], os custos referentes ao modal rodoviário podem ser dados por: Manutenção, dada pelos reparos e trocas de peças do veículo; Depreciação do veículo/frota, referente a parte do dinheiro que deve ser preparada

para a troca de veículo; Tributação, referente aos impostos pagos aos órgãos públicos; Mão de obra, referente ao pagamento realizado ao motorista do caminhão; Seguros, o que inclui o seguro da carga e do veículo; Custos Administrativos, dado pelo planejamento e preparação do transporte; Pedágio, que são cobrados durante o percurso; Combustível utilizado, nesse caso o diesel S10.

Com relação aos valores atribuídos a cada custo citado, os mesmos podem ser vistos na Tabela 1 logo abaixo.

**Tabela 1:** Custos associados ao transporte de diesel de Paulínia até Bauru através do modal rodoviário.

Descrição do Custo	Valor	Referência
<b>Manutenção</b>		
Pneus (R\$/km)	0,150	[44]
Lubrificante (R\$/km)	0,044	[45]
Reparos e Consertos (R\$/km)	0,013	[29,43]
<b>Tributação</b>		
IPVA (% sobre o preço do veículo)	1,500	[46]
<b>Depreciação</b>		
Depreciação do Veículo (R\$/km)	0,182	[43]
<b>Seguros</b>		
Seguro DPVAT (R\$/km)	6,458 x 10 <sup>-5</sup>	[47]
Seguro de Veículo (R\$/km)	0,026	[43]
<b>Mão de Obra</b>		
Salário Médio de um Caminhoneiro (R\$/km)	0,078	[33]
<b>Administrativo</b>		
Planejamento e Administração (R\$/km)	0,052	[43,44]
<b>Custos de Trajeto</b>		
Combustível S10 (R\$/Km)	1,146	[29,45,48]
Pedágio Paulínia A - N/S (SP-332) (R\$/eixo)	8,800	[49]
Pedágio Limeira Anhanguera (SP-330) (R\$/eixo)	6,500	[49]
Pedágio Rio Claro (SP-310) (R\$/eixo)	8,200	[49]
Pedágio Brotas (SP-225) (R\$/eixo)	7,050	[49]

Pedágio Dois Córregos (SP-225) (R\$/eixo)	8,000	[49]
Pedágio Jaú (SP-225) (R\$/eixo)	10,300	[49]

Fonte: Autoria própria (2021).

A respeito dos valores encontrados, vale destacar o trabalho realizado por Freitas et al. [43], no qual os autores envolvidos observaram a eficácia do método utilizado pela FAO para a determinação de agregadores de custo no transporte por caminhão. Tal metodologia foi utilizada para calcular o valor do seguro anual, considerando que tal valor seria equivalente a 5% do valor total do veículo, assim como o custo administrativo, equivalente a 10% da soma dos custos de pessoal e de maquinário, e também o valor de reparos e consertos, que contou com o uso das equações (2) e (3) logo abaixo, sendo  $C_o$  o valor dos consertos,  $V$  o valor do veículo,  $T$  a vida útil do veículo (em anos),  $TU$  o tempo máximo de uso (em anos),  $TE$  a média de horas de espera e  $TV$  como as horas médias de viagem.

$$C_o = V / (T \cdot h_v) \quad (2)$$

$$h_v = (T/TU) \cdot (1 - (TE/(TV+TE))) \quad (3)$$

A metodologia da FAO [43] também considera o custo de depreciação do veículo como um agregador de custos no transporte rodoviário. Nesse sentido, a equação (4), logo abaixo, é usada para calcular tal gasto, sendo  $D$  a depreciação do veículo,  $V$  o custo do veículo e  $H$  o tempo expresso em horas efetivas de trabalho.

$$D = 0,8V/H \quad (4)$$

Com relação ao cálculo dos custos por conta do jogo de pneus, Kruger et al [42] mencionam que a vida útil de um pneu é de 250 mil Km. É necessário mencionar que, para este caso, foi escolhido o caminhão Mercedes-Benz Actros 2546, sendo este um modelo que apresenta 6 pneus, potência de 420 cv e valor de R\$ 374.421,00 segundo a Tabela FIPE [50,51].

Os custos relacionados ao uso de lubrificantes foram obtidos com a consideração de que 1 Litro do produto deveria ser utilizado após o consumo de 200 Litros de combustível, assim como a cada km percorrido por um caminhão de grande porte ocorreria o consumo de 0,315 Litros de diesel [45].

No que tange aos salários recebidos por caminhoneiros, conforme consta na pesquisa da Confederação Nacional de Transportes [33], motoristas contratados possuem salários de R\$ 3.720 enquanto os autônomos faturam líquidos R\$ 5.011, resultando em uma média de R\$ 4.609 mensais.

Os demais dados foram encontrados naturalmente durante a pesquisa, sem haver qualquer tipo de alteração ou dedução.

#### 2.4.2. Custos do Modal Ferroviário

Segundo Gattuso & Restuccia [52], os custos referentes ao modal ferroviário podem ser dados por: Manutenção, dada pelos reparos e trocas de peças do veículo; Depreciação do veículo/frota, referente a parte do dinheiro que deve ser preparada para a troca de veículo; Mão de obra, referente ao pagamento realizado as pessoas que trabalham em terra ou a bordo; Combustível utilizado, nesse caso o diesel não rodoviário, também chamado de óleo S1800 ou diesel TFM [53]. Os custos também incluem a construção ou ampliação de linhas férreas quando estas ocorrem.

Com relação aos valores atribuídos a cada custo citado, os mesmos podem ser vistos na Tabela 2 logo abaixo.

**Tabela 2:** Custos associados ao transporte de diesel de Paulínia até Bauru através do modal ferroviário.

Descrição do Custo	Valor	Referência
<b>Manutenção</b>		
Reparos e Consertos (R\$/km)	20,000	[52]
<b>Depreciação</b>		
Depreciação do Veículo (R\$/km)	0,027	[52]
<b>Mão de Obra</b>		
Salário Médio de um Maquinista (R\$/km)	0,162	[52,54]
Salário Médio de um Operador Administrativo (R\$/km)	0,225	[52,54]
Salário Médio de um Controlador de Tráfego (R\$/km)	0,171	[52,54]
<b>Custos de Trajeto</b>		
Combustível S1800 (R\$/Km)	1,146	[52,53]

Custos de Superestrutura		
Trilhos UIC-60 (R\$)	2500,000	[40]
Dormente (R\$/t)	240,000	[40]
Tala de Junção de Trilho (R\$/unidade)	120,000	[40]
Parafuso para Tala de Junção (R\$/unidade)	7,500	[40]
Palmilha para Dormente (R\$/unidade)	2,000	[40]
Grampo Elástico Pandrol (R\$/unidade)	4,500	[40]
Pedra de Lastro (R\$/m³)	45,000	[40]
Custo de Implantação (R\$)	31.034.890,26	[40]
Custos de Infraestrutura		
Terraplanagem (R\$/m³)	11,112	[40]
Drenagem (R\$)	35.640.000,000	[40]
Obras de Arte Especiais (R\$/m)	50.000,000	[40]
Obras Complementares (R\$)	26.730.000,000	[40]

**Fonte:** Autoria própria (2021).

Com relação aos valores encontrados, algumas variáveis merecem ser ressaltadas. Diferente do procedimento adotado ao modal anterior, o custo de reparos e consertos por quilômetro para as ferrovias foi obtido por meio de um coeficiente encontrado no trabalho realizado por Gattuso e Restuccia [52], onde os autores mencionam que o tal gasto equivale de 2,5 a 3,5 euros por quilômetro.

A mão de obra nas ferrovias também é um diferencial em comparação ao modal rodoviário. Nas linhas férreas o trem é conduzido pelo maquinista, contudo, para garantir o prosseguimento adequado da viagem, é necessária a presença de funcionários em terra como controladores de tráfego e operadores administrativos, que auxiliarão no recebimento da carga e darão coordenadas e comandos ao maquinista sobre como prosseguir para que o transporte seja realizado em segurança [52,54].

O custo de depreciação, segundo Gattuso e Restuccia [52], pode ser obtido pela divisão entre o preço da locomotiva pelo seu tempo máximo de uso. Vale destacar que, a partir do trabalho citado, foi estipulado um preço de locomotiva através da média de preço dos trens a diesel apresentados [52].

Apesar de, neste trabalho, ser considerado o uso do diesel como combustível para as locomotivas, percebe-se na literatura que a energia elétrica também aparece

como uma opção [27,52]. Sobre o consumo do trem, vale mencionar que, assim como os custos de manutenção, este tende ser maior quanto mais pesada for a carga transportada [54,55].

Quanto aos custos encontrados para os elementos que compõem tanto a superestrutura quanto a infraestrutura, os mesmos foram baseados nos valores observados no trabalho de Eler et al. [40]. Na ocasião, os autores detalharam e compararam os custos referentes à construção de 1.000 Km de rodovias e ferrovias [40], e a partir de tais dados, foi possível encontrar valores proporcionais para a ferrovia de 297 Km que conecta Paulínia a Bauru.

#### 2.4.3. Custos do Modal Dutoviário

Conforme visto na literatura, o modal dutoviário possui como característica os baixos custos operacionais, mas altos custos fixos [13,36,56]. Segundo Coelho [56], os custos atrelados ao transporte por dutos são dados por: Manutenção, dada pelas ações preventivas sobre os dutos e aos equipamentos; Mão de obra, referente ao pagamento realizado para as pessoas que trabalham na manutenção das dutovias; Energia elétrica, sendo esta usada para funcionar as bombas necessárias. Os custos também incluem a construção de dutos para os casos em que este for considerado.

Com relação aos valores atribuídos a cada custo citado, os mesmos podem ser vistos na Tabela 3 logo abaixo.

**Tabela 3:** Custos associados ao transporte de diesel de Paulínia até Bauru através do modal dutoviário.

Descrição do Custo	Valor	Referência
Manutenção		
Manutenção dos Dutos (R\$/dia)	68,48	[57,58]
Manutenção das Estações (R\$/dia)	79,47	[57,58]
Mão de Obra		
Mão de Obra nas Instalações de Entrada e Saída (R\$/dia)	233,60	[42]
Mão de Obra nas Estações de Reforço (R\$/dia)	531,25	[42]
Energia Elétrica		

Consumo Elétrico por Bomba (R\$/dia)	10.093,71	[57,58]
Consumo Elétrico dos Demais Componentes (R\$/dia)	531,25	[58,59]
<b>Outros Custos</b>		
Compra de Materiais (R\$/dia)	136,67	[42]
Interligações de Telecomunicação (R\$/dia)	116,67	[42]
Processo de Pigagem (R\$/dia)	336,86	[42]
<b>Instalação de Entrada</b>		
Construção do Tanque (R\$)	234.501,92	[42]
Equipamentos Adicionais (R\$)	366.094,84	[42]
<b>Instalação de Saída</b>		
Construção do Tanque (R\$)	234.501,92	[42]
Equipamentos Adicionais (R\$)	366.094,84	[42]
Construção da Instalação (R\$)	464.762,88	[42]
<b>Estações de Reforço</b>		
Construção de cada Estação (R\$)	232.381,44	[42]
<b>Custo dos Tubos</b>		
Tubo 6" de Aço Carbono (R\$/10 metros)	166,00	[61]
<b>Outros Custos</b>		
Implementação de Estradas (R\$)	36.887,40	[42]
Controle Automático (R\$)	300.000,00	[42]
Aquisição de Bomba (R\$)	190.724,93	[58]

Fonte: Autoria própria (2021).

Em relação aos valores acima, todos foram obtidos a partir de equações encontradas na literatura. A única exceção foi o custo dos tubos, sendo o valor deste obtido por pesquisa direta [61].

A respeito dos valores de manutenção dos dutos e das estações, Marufuzzaman et al. [58] apontam que estes podem ser encontrados a partir dos custos totais da implementação dos dutos e de aquisição de bombas, sendo o custo anual de manutenção dos dutos equivalente a 0,5% do custo de implementação de dutos e o custo anual da manutenção de bombas equivalente a 3% do custo de aquisição de bombas. Os mesmos autores apontam que o custo por cada bomba adquirida pode ser estimado a partir da equação (4), logo abaixo, em que C é o



custo por bomba e P corresponde a potência da bomba dada em cavalos:

$$C = 1.322*(P^{0,8}) \quad (4)$$

Os custos de mão de obra tanto para as instalações de entrada e saída quanto para estações de reforço foram obtidos por meio das equações (5) e (6) observadas no trabalho de Liu et al. [42]. Nas fórmulas abaixo, C corresponde ao custo anual, N corresponde ao número de estações de reforço e D corresponde ao diâmetro interno da tubulação, em pés.

$$C = 450.000*(D^{0,756}) \quad (5)$$

$$C = 80.000*N*(D^{0,8}) \quad (6)$$

O consumo elétrico foi determinado a partir da eletricidade despendida pelas bombas. Conforme mencionado por Abbasi e Garousi [60], o consumo elétrico das bombas do sistema dutoviário corresponde a cerca de 95% dos gastos totais de energia elétrica, sendo o restante dos gastos elétricos dados pelo consumo dos demais componentes. Para o cálculo de consumo de bomba foi usada a equação (7) logo abaixo, sendo C dado pelo custo anual de eletricidade, P dado pela potência da bomba em KW, N o número de bombas no sistema, CE o custo da energia elétrica em KWh, t o tempo em horas e  $\eta$  o rendimento da bomba:

$$C = (P*N*CE*t)/(\eta) \quad (7)$$

Vale destacar que os valores apresentados na Tabela 4 referentes aos custos de eletricidade foram obtidos levando em consideração o uso de uma bomba de 500 cv operando 24 horas por dia.

Para a determinação dos custos demais custos operacionais considerados, foram utilizadas as equações presentes no trabalho de Liu et al. [42]. Os custos referentes a compra de materiais, interligações de telecomunicação e processo de pigagem foram obtidos, respectivamente, a partir das equações (8), (9) e (10). Para as fórmulas abaixo, C corresponde ao custo anual, N corresponde ao número de bombas no sistema, D é dado pelo diâmetro em pés,  $\alpha$  é dado pela taxa de preenchimento da linha,  $\lambda$  corresponde a integridade do sistema e L é a extensão da

do percurso dado em milhas:

$$C = 1.000*(8,4*N+8,4) \quad (8)$$

$$C = 10.000*D \quad (9)$$

$$C = 15.500*\alpha*\lambda*L(0,45 - 0,0003L)*D^3 \quad (10)$$

Tanto para as instalações de entrada quanto de saída foi considerada a presença de um tanque de estocagem e de equipamentos gerais como constituintes. Entretanto, como a REPLAN já apresenta infraestrutura própria, neste trabalho, somente a instalação de saída possuirá custo de construção. Seguindo o que foi proposto por Liu et al. [42], para calcular a colocação do tanque, a implementação de equipamentos adicionais e o custo de construção (no caso da instalação de saída) devem ser usadas, respectivamente, as equações (11), (12) e (13), de modo que C seja o custo, D seja o diâmetro em pés e Q represente o fluxo mássico do produto transportado, sendo fornecido em toneladas por hora:

$$C = 90.000 * D^2 \quad (11)$$

$$C = 10 * Q^{0.6} \quad (12)$$

$$C = 1.920.000 * D^2 \quad (13)$$

Com relação a estação de reforço, o custo de construção é dado pela equação (14) apresentada logo abaixo, sendo C o custo de construção, N o número de estações de reforço de todo sistema e D o diâmetro do tubo medido em pés [42]:

$$C = 240.000 * N * D^2 \quad (14)$$

Por fim, novamente seguindo o trabalho de Liu et al. [42], foi calculado o custo da automatização do sistema dutoviário bem como o gasto realizado para a implementação de estradas por meio das equações (15) e (16) respectivamente. Quanto às fórmulas usadas, C corresponde ao custo, N corresponde ao número de estações de reforço e L corresponde ao comprimento da linha em milhas.

$$C = 100 + 50 * N \quad (15)$$

$$C = 200.000 * L \quad (16)$$

## CAPÍTULO 3 - RESULTADOS

### 3.1. Análise de Cenários

Nesta etapa serão apresentados diferentes cenários de transporte utilizando como base as informações obtidas no capítulo anterior. Conforme apresentado no Capítulo 1, os cenários serão simulados da seguinte forma:

- **1° Cenário:** REPLAN → Caminhão → Revendedora em Bauru;
- **2° Cenário:** REPLAN → Trem → Estação → Caminhão → Revendedora em Bauru;
- **3° Cenário:** REPLAN → Trem → Estação → Caminhão → Revendedora em Bauru + Custo de Construção de Estrutura;
- **4° Cenário:** REPLAN → Dutovia → Terminal → Caminhão → Revendedora em Bauru.
- **5° Cenário:** REPLAN → Dutovia → Terminal → Caminhão → Revendedora em Bauru + Custo de Construção de Estrutura.

Em cada caso serão determinados os custos agregados por conta do transporte e a vazão, ou seja, o volume de diesel transportado por hora.

#### 3.1.1. Análise do 1° Cenário

Para a análise do 1° cenário, será simulado um transporte rodoviário ininterrupto tendo a REPLAN como ponto inicial e a Revendedora em Bauru como destino final. As variáveis circundantes dessa análise estão colocadas na Tabela 4 logo abaixo.

**Tabela 4:** Variáveis iniciais propostas para o 1° Cenário.

Variável	Valor	R*	Variável	Valor	R*
Distância de Ida (Km)	248,00		Preço do Caminhão (R\$)	374.421,00	[50]
Viagem Completa (Km)	496,00		Número de eixos	6	[50]
Tempo de Espera (h)	0,50		Número de pneus	22	[50]

Velocidade Máxima (Km/h)	90,00	[45]	Potência do Veículo (CV)	450	[50]
Velocidade Média (Km/h)	82,52	[30]	Vida Útil do Veículo (h)	20.000	[50]
Tempo de Ida (h)	2,76		Tempo de Uso (ano)	10	[43]
Tempo Total de Viagem (h)	6,02		Vida Útil do Pneu (Km)	250.000	[44]
Número de Tanques	1		Volume do Tanque	40	[29]

\*R = Referência Utilizada.

**Fonte:** Autoria própria (2021).

A partir de tais dados, bem como aqueles expostos na Tabela 1, podemos fazer a determinação dos gastos decorrentes do transporte rodoviário em questão. Na Tabela 5, logo abaixo, observa-se os seguintes custos para todo o percurso.

**Tabela 5:** Gastos com transporte para o 1º cenário.

Descrição do Custo	Custo por Km	Valor Total (R\$)
<b>Pagamento do Motorista</b>	0,078	38,479
<b>Depreciação</b>	0,182	90,027
<b>Combustível</b>	1,146	568,557
<b>Seguros</b>	0,026	12,879
<b>Manutenção</b>	0,207	102,723
<b>Administração</b>	0,052	25,728
<b>Tributação</b>	0,008	3,854
<b>Pedágio</b>	-	586,200

**Fonte:** Autoria própria (2021).

É importante ressaltar que, para a análise acima, foram contabilizados os custos de ida e volta.

Conhecendo o volume movido pelo caminhão a cada viagem, assim como os gastos decorrentes dessa mesma viagem, podemos determinar o preço acrescentado ao Diesel transportado dividindo a somatória dos gastos pelo volume do tanque do caminhão. Para este caso específico, o preço acrescentado foi de 3,571 centavos por litro.

Com relação à vazão de diesel nesse caso, é possível observar que são

necessárias 3,26 horas para que o produto seja levado até Bauru e descarregado por completo. Entretanto, se considerar o período necessário para que o caminhão retorne até a REPLAN, este tempo sobe para 6,02 horas. Portanto, é possível afirmar que são escoados cerca de 12.270 litros de diesel a cada hora partindo da REPLAN até Bauru, ou 6.640 litros por hora ao se considerar o percurso completo.

### 3.1.2. Análise do 2º Cenário

Para a análise do 2º cenário, será simulado um transporte majoritariamente realizado através de ferrovias. Como mencionado anteriormente, o percurso do trem de carga será iniciado na REPLAN e finalizado em uma estação de descarga em Bauru. Da estação de descarga até o final do percurso, ou seja, até as revendedoras presentes na mesma cidade, o transporte será executado por um caminhão. As variáveis circundantes dessa análise estão colocadas na Tabela 6 logo abaixo.

**Tabela 6:** Variáveis iniciais propostas para o 2º Cenário.

Variável	Valor	R*	Variável	Valor	R*
<b>Ferrovia</b>					
Distância de Ida (Km)	297,00		Preço do trem (R\$)	1.374.333,33	[50]
Viagem Completa (Km)	594,00		Tempo de Uso (ano)	20	[52]
Velocidade Média (Km/h)	15,42	[35]	Número de Locomotivas	1	
Tempo de Descarga (h)	1,49	[62]	Peso (ton) por vagão	87,55	[41]
Tempo de Ida (h)	19,26		Tempo Total de Viagem (h)	40,00	
Número de Vagões	41	[55]	Volume do Vagão (m³)	103	[29]
Combustível (R\$/L)	2,54	[53]	Consumo de Diesel (L/Km)	0,0045	[52]
Número de Maquinistas	1	[54]	Salário do Maquinista (R\$)	1.800,00	[54]
Número de Operadores Administrativos	5	[54]	Salário dos Operadores Administrativos (R\$)	2.500,00	[54]
Número de Controladores de Tráfego	5	[54]	Salário dos Controladores de Tráfegos (R\$)	1.900,00	[54]
<b>Rodovia</b>					
Distância de Ida (Km)	5,000		Preço do Caminhão (R\$)	374.421,00	[50]

Viagem Completa (Km)	10,000		Número de eixos	6	[50]
Velocidade Média (Km/h)	90,000	[30]	Número de pneus	22	[50]
Tempo de Ida (h)	0,056		Potência do Veículo (CV)	450	[50]
Tempo Total de Viagem (h)	0,112		Vida Útil do Veículo (h)	20.000	[50]
Número de Tanques	1		Tempo de Uso (ano)	10	[43]
Volume do Tanque	40	[29]	Vida Útil do Pneu (Km)	250.000	[44]

\* R = Referência Utilizada.

**Fonte:** Autoria própria (2021).

A partir de tais dados, bem como aqueles expostos nas Tabelas 1 e 2, podemos fazer a determinação dos gastos decorrentes do cenário em questão. Na Tabela 7, logo abaixo, observa-se os seguintes custos para todo o percurso.

**Tabela 7:** Gastos com transporte para o 2º cenário.

Descrição do Custo	Custo por Km	Valor Total (R\$)
<b>Ferrovia</b>		
<b>Pagamento dos Trabalhadores</b>	2,144	1.273,346
<b>Depreciação</b>	0,027	24.368,084
<b>Combustível</b>	41,024	11.885,940
<b>Manutenção</b>	20,010	15,907
<b>Rodovia</b>		
<b>Pagamento do Motorista</b>	0,071	0,711
<b>Depreciação</b>	0,166	1,664
<b>Combustível</b>	1,146	11,463
<b>Seguros</b>	0,024	0,238
<b>Manutenção</b>	0,204	2,041
<b>Administração</b>	0,049	0,490
<b>Tributação</b>	0,007	0,071

**Fonte:** Autoria própria (2021).

Assim como no caso anterior, foram contabilizados os custos de ida e volta, tanto para o caminhão quanto para o trem que realizou o transporte. Com relação ao

tempo de descarga do trem, esse foi baseado no valor encontrado na monografia de Oliveira [62]. Também é importante ressaltar que, por sua baixa capacidade de transporte, o caminhão coleta na estação somente uma pequena parte de todo o combustível entregue pelo trem. Por fim, a respeito do valor de 5 Km adotado para a distância percorrida pelo caminhão nesse cenário, essa foi determinada de forma arbitrária a partir da visualização do mapa de Bauru.

Conhecendo o volume movido por vagão até a estação de descarga, o volume transportado pelos caminhões até o restante do percurso, e os gastos decorrentes de toda a viagem, é possível determinar o preço acrescentado a todo o Diesel transportado. Nesse cenário, o preço final do combustível pode ser determinado a partir da equação (17) logo abaixo, na qual P2 corresponde ao preço final do combustível nesse cenário, Cf representa os custos associados ao transporte ferroviário, Vf corresponde ao volume de diesel levado pelo trem, Cr representa os custos associados ao transporte rodoviário e Vr é dado pelo volume carregado pelo caminhão até o ponto final do percurso.

$$P2 = (\Sigma C_f/V_f) + (V_f/V_r)(\Sigma C_r/V_r) \quad (17)$$

Para este cenário, o transporte por trem aumentou o valor do litro de diesel em 0,00889 R\$ enquanto cada viagem feita com caminhão acrescentou 0,00042 R\$ em valor, resultando em um custo final de 5,389 centavos por litro transportado visto que, nesse caso específico, foram necessárias 106 viagens de caminhão para distribuir toda a quantia de combustível trazida pelos trens.

Com relação a vazão de diesel para este cenário, esta deve ser determinada levando em conta o transporte do diesel até a estação de descarga, e não até as revendedoras como no caso anterior. Essa interpretação vem do fato de que, uma vez descarregado dos vagões, este diesel tende a ser separado entre diversos caminhões e destinado para diferentes lugares em diferentes tempos, descaracterizando o volume inicial adotado no cálculo bem como os tempos de partida e chegada de tais caminhões. Sendo assim, é possível afirmar que, com as variáveis adotadas, cerca de 4.223.000 de litros são movidos por viagem, sendo a duração dessa movimentação equivalente a 40 horas considerando o trajeto completo, ou 20,75 horas considerando o percurso de ida e o descarregamento da carga. Portanto, pode-se afirmar que são escoados cerca de 203.519 litros a cada hora partindo da REPLAN até Bauru, ou 105.575 litros por hora ao se considerar o



percurso completo.

### 3.1.3. Análise do 3º Cenário

A análise do 3º cenário será igual à realizada no caso anterior, entretanto, serão adicionados gastos de uma suposta construção de ferrovia como agregadores de custos. Assim como o cenário previamente montado, nesse caso serão usados os dados presentes nas tabelas 1,2,6,7 e também na Tabela 8 colocada logo abaixo.

**Tabela 8:** Custos de Estrutura Ferroviária para o 3º Cenário.

Descrição do Custo	Preço por unidade (R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
<b>Custos de Superestrutura</b>			
Trilhos UIC-60	2500,000	35.841	89.604.900,00
Dormente	240,000	475.200	114.048.000,00
Tala de Junção de Trilho	120,000	594	71.280,00
Parafuso para Tala de Junção	7,500	1.782	13.365,00
Palmilha para Dormente	2,000	950,400	1.900.800,00
Grampo Elástico Pandrol	4,500	1.900.800	8.553.600,00
Pedra de Lastro	45,000	742.500	33.412.500,00
Custo de Implantação	31.034.890,260	-	31.034.890,260
<b>Custos de Infraestrutura</b>			
Terraplanagem	11,112	10.692.000,00	118.800.000,00
Drenagem	35.640.000,000	35.640.000,00	35.640.000,00
Obras de Arte Especiais	50.000,000	41.580.000,00	41.580.000,00
Obras Complementares	26.730.000,000	26.730.000,00	26.730.000,00

**Fonte:** Autoria própria (2021).

Devido aos altos custos apresentados acima, a distribuição dos gastos em apenas poucas viagens tornaria o preço final do combustível muito caro, fazendo com que a venda deste, pensando em uma situação real, ficasse inviável economicamente. Dorneles [63], em seu trabalho de conclusão de curso, calculou, a partir dos lucros auferidos por uma empresa, o tempo necessário para o retorno de

investimento para a um empreendimento no setor ferroviário em Santa Catarina, concluindo que o período necessário para tal retorno se situava entre 2 a 7 anos. Entretanto, o tempo estipulado pelo autor previa o retorno de um investimento de cerca de 69 milhões de reais. Os custos de superestrutura e infraestrutura somados neste trabalho ultrapassam os 500 milhões de reais conforme observado na Tabela 8 acima e, por conta disso, para este cenário, será estimado um tempo de retorno de investimento de 15 anos, significando que, durante esse período, todas as viagens feitas apresentarão um acréscimo de preço decorrente da estrutura implementada.

Para a determinação do valor acrescido por conta da estrutura, foi feita uma divisão dos custos de cada viagem completa no intervalo de 15 anos pelo volume de diesel transportado no mesmo período. Nessa situação, o custo adicionado foi de 3,614 centavos por litro, fazendo com que, junto aos demais gastos, o custo total acarretado pelo transporte seja equivalente a 9,003 centavos por litro.

Com relação a vazão, essa continua sendo a mesma apontada no 2º Cenário visto que, nesse caso, a implementação da estrutura não causa modificações na velocidade e nem no volume transportado pelo modal ferroviário.

#### 3.1.4. Análise do 4º Cenário

Para a análise do 4º cenário, será simulado um transporte majoritariamente realizado através de dutos. Assim como no 2º e no 3º cenário, o percurso será iniciado na REPLAN e finalizado em um suposto terminal em Bauru. Do terminal, em que o diesel será recebido, até o final do percurso, ou seja, até as revendedoras presentes na mesma cidade, o transporte será executado por um caminhão. As variáveis circundantes dessa análise estão colocadas na Tabela 9 logo abaixo.

**Tabela 9:** Variáveis iniciais propostas para o 4º Cenário.

Variável	Valor	R*	Variável	Valor	R*
<b>Dutovia</b>					
Distância (Km)	297,00		Diâmetro Interno (cm)	15,00	[57]
Espessura do Tubo (mm)	9,50	[57]	Diâmetro Externo (cm)	15,95	[57]
Velocidade Média (Km/h)	2,00	[37]	Seção Transversal (cm²)	2355,00	
Número de bombas	5	[57]	Rendimento (%)	70	[57]

Tempo de Operação (h)	24		Potência por Bomba (KW)	368,00	[57]
Preço de Energia Elétrica (R\$/KWh)	0,80	[59]	Consumo por Bomba (KW)	525,71	
Integridade do sistema (%)	0,95	[42]	Preço de uma Bomba (R\$)	190.724,93	[58]
Preenchimento da linha (%)	0,95	[42]	Número de Estações	5	
<b>Rodovia</b>					
Distância de Ida (Km)	5,000		Preço do Caminhão (R\$)	374.421,00	[50]
Viagem Completa (Km)	10,000		Número de eixos	6	[50]
Velocidade Média (Km/h)	90,000	[30]	Número de pneus	22	[50]
Tempo de Ida (h)	0,056		Potência do Veículo (CV)	450	[50]
Tempo Total de Viagem (h)	0,112		Vida Útil do Veículo (h)	20.000	[50]
Número de Tanques	1		Tempo de Uso (ano)	10	[43]
Volume do Tanque	40	[29]	Vida Útil do Pneu (Km)	250.000	[44]

\* R = Referência Utilizada.

**Fonte:** Autoria própria (2021).

Vale ressaltar a presença do trabalho de Kneale [57] para a escolha de valores para algumas das variáveis acima. No trabalho mencionado, o autor descreve o deslocamento de óleo cru através de um duto localizado no Iraque, no qual é afirmado que, para o escoamento em um duto de 6", são utilizadas bombas de 500 cv [57]. No mesmo trabalho é mencionado que o rendimento de bombas varia de 70 a 100% e que a distância entre cada bomba ao se escoar diesel deve ser de, no máximo, 64 Km [57].

Juntando os dados das Tabelas 1, 3 e 9, podemos fazer a determinação dos gastos decorrentes do cenário em questão. Na Tabela 10, logo abaixo, observa-se os seguintes custos para todo o percurso. Diferente do que ocorreu nos casos anteriores, por conta das características do modal dutoviário, os custos de transporte abaixo não estão dados em R\$/km, mas sim em R\$/dia.

**Tabela 10:** Gastos com transporte para o 4° cenário.

Descrição do Custo	Custo por dia
<b>Dutovia</b>	

Pagamento dos Trabalhadores	1.312,00	
Manutenção	147,94	
Energia Elétrica	53.124,81	
Outros Custos	590,20	
Descrição do Custo	Custo por Km	Valor Total (R\$)
<b>Rodovia</b>		
Pagamento do Motorista	0,071	0,711
Depreciação	0,166	1,664
Combustível	1,146	11,463
Seguros	0,024	0,238
Manutenção	0,204	2,041
Administração	0,049	0,490
Tributação	0,007	0,071

Fonte: Autoria própria (2021).

Uma vez que nenhuma máquina é deslocada durante o transporte de produtos por dutos, o custo associado ao uso de dutovias pode ser contabilizado somente até o momento em que o produto chega ao destino final, diferente dos casos anteriores em que, por conta do trajeto de volta, os gastos não paravam de aumentar após o descarregamento. Contudo, a parte desse cenário em que o caminhão é utilizado deve contabilizar a ida e a volta do veículo como agregador de custos. Também é importante ressaltar a similaridade desse caso com os cenários 2 e 3, tanto na escolha da distância percorrida pelo caminhão, quanto ao fato de que o caminhão coleta no terminal somente uma pequena parte de todo o combustível entregue pelos dutos.

A vazão, para este cenário, pode ser obtida a partir do produto entre a seção transversal do tubo e a velocidade de deslocamento do fluido. Sendo assim, a vazão de diesel nas tubulações equivale a cerca de 11.394.432 litros por dia. Pelos mesmos motivos apresentados no 2º e no 3º cenário, esta é uma situação em que a vazão deve ser calculada sem levar em conta a atuação do modal rodoviário.

Por meio da vazão apresentada, assim como a determinação das variáveis e dos custos presentes no cenário em questão, é possível obter a soma dos gastos gerados em todo o percurso e consequentemente a distribuição dos custos sobre o combustível transportado. A equação usada para fazer esse cálculo é apresentada

logo abaixo, sendo P4 correspondente ao preço final do combustível nesse cenário, Cd representa os custos associados ao modal dutoviário, Cr equivale aos custos associados ao modal ferroviário, t equivale ao tempo estipulado, Q é dado pela vazão do duto e Vr representa o volume carregado pelo caminhão até o final do percurso.

$$P4 = ((\Sigma Cd * t) / (Q * t)) + ((Q * t) / Vr) (\Sigma Cr / Vr) \quad (18)$$

Para este cenário, o transporte por dutos aumentou o valor do litro de diesel em 0,00484 R\$ enquanto cada viagem feita com caminhão acrescentou 0,00042 R\$ em valor, resultando em um custo final de 12,454 centavos por litro transportado visto que, nesse caso específico, foram necessárias 285 viagens de caminhão para escoar todo fluido carregado pelos dutos.

### 3.1.5. Análise do 5º Cenário

A análise do 5º cenário será igual à realizada no caso anterior, contudo, serão adicionados gastos de uma suposta construção dutoviária como agregadores de custos. Assim como o cenário previamente montado, nesse caso serão usados os dados presentes nas tabelas 1,3,9,10 e também na Tabela 11 posta logo abaixo.

**Tabela 11:** Custos de estrutura dutoviária para o 5º Cenário.

Descrição do Custo	Preço por unidade (R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
<b>Custos de Instalação de Entrada</b>			
<b>Construção de Tanque</b>	234.501,92	1	234.501,92
<b>Equipamentos Adicionais</b>	366.094,84	-	366.094,84
<b>Custos de Instalação de Saída</b>			
<b>Construção de Tanque</b>	234.501,92	1	234.501,92
<b>Equipamentos Adicionais</b>	366.094,84	-	366.094,84
<b>Construção de Instalação</b>	464.762,88	-	234.501,92
<b>Estações de Reforço</b>			

<b>Construção de Estação</b>	232.381,44	4	929.525,76
<b>Custo dos Tubos</b>			
<b>Tubo de 10 m e 6" de Aço Carbono</b>	166,00	29.700	4.930.200,00
<b>Custo dos Tubos</b>			
<b>Implementação de Estradas</b>	232.381,44	-	232.381,44
<b>Controle Automático</b>	300.000,00	-	300.000,00
<b>Aquisição de Bombas</b>	190.723,42	5	963.624,64

**Fonte:** Autoria própria (2021).

Assim como no 3º cenário, este é um caso em que os gastos gerados são muito altos para serem distribuídos a curto prazo. Seguindo o mesmo raciocínio do cenário mencionado, a distribuição de tais custos serão dadas no período de 15 anos.

Para a determinação do valor acrescido por conta da estrutura, foi feita uma divisão dos custos de carregamento de diesel por dutos no intervalo de 15 anos pelo volume de diesel movimentado no mesmo período. Nessa situação, o custo adicionado será de 0,012 centavos por litro, fazendo com que, junto aos demais gastos, o custo total acarretado pelo transporte seja equivalente a 12,466 centavos por litro.

A vazão presente nesse caso é exatamente a mesma do cenário anterior, por conta dos motivos já explicados previamente no 3º cenário.

## 3.2. Comparação entre Cenários

### 3.2.1. Comparação de Custos

Uma vez projetados os cenários, é possível fazer comparações entre cada um deles. A tabela 12 logo abaixo apresenta os custos gerados por cada cenário proposto.

**Tabela 12:** Custos gerados em cada cenário.

Cenário	Custo por Modal por	Custo por	Volume	Custo por
---------	---------------------	-----------	--------	-----------

	Viagem (R\$)		Estrutura (R\$)	Movido (m³)	Litro (¢/L)
Cenário 1	Caminhão		-	40,00	3,571
	1.428,25				
Cenário 2	Trem	Caminhão	-	4.223,00	5,389
	37.543,28	16,98			
Cenário 3	Trem	Caminhão	501.426.878,54	4.223,00	9,003
	37.543,28	16,98			
Cenário 4	Dutos	Caminhão	-	11.394,43	12,454
	55.174,95	16,98			
Cenário 5	Dutos	Caminhão	7.220.510,19	11.394,43	12,466
	55.174,95	16,98			

**Fonte:** Autoria própria (2021).

A partir da tabela mostrada é possível perceber que, nesse caso, o primeiro cenário foi o que apresentou o menor custo de transporte. Apesar de ser o cenário em que foi transportada a menor quantia de diesel, foi aquele que apresentou os mais baixos custos de operação e, por não necessitar de outros modais para finalizar o transporte, não teve custos associados à intermediação. Pensando na proximidade entre os locais analisados, esse resultado condiz com o que foi proposto na literatura, uma vez que é sugerido que o modal rodoviário deve ser usado para distâncias curtas enquanto os demais são ideais para distâncias longas [9,26,27].

Por outro lado, o 4° e o 5° cenário, nos quais foram utilizados o modal dutoviário, foram os que apresentaram os maiores custo acrescentados ao diesel e, consequentemente, as piores propostas. Os custos durante a operação foram os maiores em comparação aos demais cenários e, ainda que, isoladamente, a distribuição de tais custos acrescentasse apenas 0,484 centavos por litro de diesel transportado diariamente, as diversas viagens de caminhão utilizadas para levar o produto dos terminais até as revendedoras em Bauru fez com que o preço final por litro passasse para 12,454 e 12,466 reais. Vale ressaltar, entretanto, que a velocidade de transporte nos dutos adotada para os cenários foi de apenas 2 Km/h, que além de ser a velocidade mínima de escoamento em um duto, poderia, em um caso real, ser aumentada a fim de que o volume carregado fosse maior e custos finais menores. Curiosamente, percebe-se que o custo de implementação, no 5° cenário,

apesar de alto, teve pouco impacto em comparação aos demais custos dutoviários, visto um aumento de apenas 0,1% no valor total dos gastos.

Com relação ao 2° e ao 3° cenário, onde houve a utilização do modal ferroviário, nota-se altos custos durante a viagem que, apesar de serem menores do que aqueles apresentados pelo uso dos dutos, são 26 vezes maiores que os custos vistos do 1° cenário. Assim como foi observado para o 4° e o 5° cenário, olhando de forma isolada, o uso das ferrovias acarretou somente em 0,889 centavos por litro de diesel transportado, entretanto, as inúmeras viagens realizadas por caminhões para levar o diesel das estações de descarga até as revendedoras fez com que o preço final por litro subisse até 5,389 e 9,003 centavos. Diferente do que houve no transporte dutoviário, a implementação proposta no 3° cenário, mesmo distribuída em 15 anos, fez com que os gastos por litro aumentassem 70,69%, visto que os valores da estrutura ferroviária são bastante altos. É importante destacar que, assim como foi justificado ao modal dutoviário, há a possibilidade de melhoria do 2° e 3° cenário por meio do aumento da velocidade média das ferrovias ou mesmo o uso de mais locomotivas e vagões, permitindo assim, maior vazão de diesel e, conseqüentemente, melhor distribuição dos custos. Um modo de se reduzir os custos observados para o 3° cenário poderia ser o aumento no tempo de retorno de investimento que, apesar de ser uma medida mais arriscada por atrasar o retorno financeiro, poderia gerar uma distribuição melhor de gastos sobre o produto transportado.

### 3.2.2. Comparação de Vazões

Tendo os cenários projetados, é possível ver em quais cenários a maior quantia de diesel é transportada em menos tempo, em outras palavras, é possível realizar comparações entre a vazão apresentada em cada caso. A tabela 13 logo abaixo apresenta as vazões obtidas em cada cenário proposto.

**Tabela 13:** Vazões obtidas em cada cenário.

Cenário	Volume Movido (m³)	Tempo Necessário (h)	Vazão (m³/dia)
Cenário 1	40,00	6,01	159,70



<b>Cenário 2</b>	4.223,00	40	2533,80
<b>Cenário 3</b>	4.223,00	40	2533,80
<b>Cenário 4</b>	11.394,43	24	11.394,43
<b>Cenário 5</b>	11.394,43	24	11.394,43

**Fonte:** Autoria própria (2021).

A partir da tabela acima é possível observar que os cenários 4 e 5 são aqueles que apresentam melhor vazão. Ainda que tais cenários sejam calcados no uso do modal dutoviário que apresenta a mais baixa velocidade em relação ao restante, a quantia de material escoado atrelado a capacidade do modal operar de forma ininterrupta permite que a vazão deste seja superior em comparação aos demais cenários.

O primeiro cenário foi aquele que apresentou a pior vazão. Apesar de apresentar a maior velocidade e o mais curto tempo de viagem, o modal rodoviário move um volume de diesel bastante pequeno comparado aos demais modais. Explicando de outra forma, nos cenários observados, em uma única viagem, um trem é capaz de levar a mesma quantia de carga de 106 caminhões tanque e o duto é capaz de transportar em cerca de 20 minutos o que um caminhão levaria um dia inteiro.

Quanto ao 2° e ao 3° cenário, esses ficam em uma posição intermediária em comparação aos demais. Apesar de ser mais lento, o modal ferroviário presente em tais cenários, conforme dito antes, possui maior capacidade de movimentação de carga, que por sua vez permite uma vazão maior do que aquela apresentada pelo modal rodoviário. Entretanto, tanto a capacidade de carregamento quanto o tempo necessário para deslocar o produto até o ponto final são inferiores em comparação ao modal dutoviário, fazendo com que, consequentemente, a vazão dos trens seja menor do que a vazão dos dutos.

Vale destacar que, conforme visto nos tópicos anteriores, ao se considerar a implementação da estrutura, não há alterações no tempo de transporte tampouco no volume movimentado, sendo esse o motivo pelo qual não há diferença de valores entre o 2° e o 3° cenário bem como entre o 4° e o 5°.



## CONCLUSÃO

A partir dos cenários observados, neste trabalho foi possível determinar os custos relacionados aos modais rodoviário, ferroviário e dutoviário. Partindo da Refinaria de Paulínia e seguindo até as revendedoras em Bauru, é possível perceber que o modal rodoviário é o que apresenta maior velocidade de entrega e melhor distribuição de custos sobre a carga, uma vez que seus custos operacionais são baixos e há a capacidade de entrega porta a porta. Contudo, no que tange a vazão do produto, é visto que os dutos são os que conseguem mover a maior quantia de diesel em menos tempo, sendo os mais adequados caso a prioridade da cidade fosse a rápida obtenção de grandes volumes do combustível, independente do custo resultante.

No que tange a construção, percebe-se que tais empreendimentos são mensurados em milhões de reais e que, ao menos para o transporte ferroviário, esse custo tende a ser difícil de distribuir, resultando em um alto acréscimo de preço de locomoção para o produto transportado. Esta pode ser uma das razões pela qual a estratégia de transporte brasileira tem sido baseada preferencialmente em rodovias. Para o percurso estudado, é possível dizer que, visando a redução de gastos com transporte, a iniciação de uma dutovia ligando a REPLAN com Bauru assim como a construção de uma linha ferroviária, caso essa não existisse, seriam ambas ruins economicamente visto que não seriam capazes de trazer soluções mais rentáveis.

É importante mencionar que, por cada modal apresentar suas próprias características e particularidades, não há um modal ideal, o que significa que cada meio de transporte tende a ser mais adequado dependendo da situação. Nesse sentido, seria interessante o desenvolvimento de trabalhos futuros que analisassem diferentes cenários de locomoção de diesel envolvendo outras localidades, viagens interestaduais ou mesmo a presença de modais não vistos neste trabalho, como o aquaviário, por exemplo. Com relação a aquisição de dados para tais análises, esses poderiam ser conseguidos a partir do trabalho presente.

Uma vez que cenário atual de transporte de Diesel da Refinaria de Paulínia para Bauru ocorre primariamente através de rodovias, mas que pode dispor do modal ferroviário como uma opção de emergência, pode-se dizer que, diante dos resultados alcançados, a escolha de estratégia de transporte tem sido correta visto que corresponde a alternativa principal é referente a opção que acarreta no mais baixo custo enquanto a opção de emergência corresponde a alternativa com o

segundo menor custo.

## REFERÊNCIAS

- [1] Sene, E.; Moreira, J. C.; **Geografia Geral e do Brasil: Espaço Geográfico e Globalização**. 2º ed. Editora Scipione, São Paulo, v.2., 2012.
- [2] Barat, J.; Vidigal, A. A. F.; Granda, M.; Dupas, G.; **Logística e Transporte no Processo de Globalização: Oportunidades para o Brasil**. Editora UNESP, São Paulo, 2007.
- [3] Carvalho, E. G.; **Globalização e Estratégias Competitivas na Indústria Automobilística: Uma Abordagem a Partir das Principais Montadoras Instaladas no Brasil**. Gestão & Produção, v.12, n.1, p.121-133, 2005.
- [4] Carvalho, E. G.; **Uma Contribuição para o Debate Sobre a Globalização na Indústria Automobilística Nacional**. Economia e Sociedade, Campinas, v. 14, n. 2 (25), p. 287-317, 2005.
- [5] Chevron, **Diesel Fuel Technical Review**. San Ramon, 2007. Disponível em: <<https://www.chevron.com/-/media/chevron/operations/documents/diesel-fuel-tech-review.pdf>>. Acesso em: 09 jun 2019.
- [6] Petrobras, **Óleo Diesel**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/produtos/automotivos/oleo-diesel/>>. Acesso em: 10 jun 2019.
- [7] Confederação Nacional de Transportes. **O Sistema Ferroviário Brasileiro**. Brasília, CDU 656.2.025.4(81), 58 p. 2013.
- [8] Junior, H. S.; **Transporte Ferroviário no Desenvolvimento do Brasil: Os Corredores Ferroviários Bioceânicos**. Trabalho de Conclusão de Curso para Especialização em Relações Internacionais, UNB, Brasília, 2013.
- [9] Falcão, V. A.; **A Importância do Transporte Ferroviário de Carga para a Economia Brasileira e suas Reais Perspectivas de Crescimento**. Revista Engenharia Civil, n. 45, 2013.
- [10] Confederação Nacional dos Transportes. **Boletim Estatístico CNT - Fevereiro/2019**. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/boletins>>. Acesso em: 22 out 2019.

- [11] Felix, M. K. R. (2018). **Exploração de Infraestrutura Ferroviária: Lições de Extremos para o Brasil**, Publicação T.DM – 001/2018, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 162p.
- [12] Tischer, V.; **Panorama do Transporte Ferroviário Urbano no Brasil e no Mundo**. Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, v. 08, n. 01, p. 62 - 81 2018.
- [13] Oliveira, F. N.; **Uma Análise Empírica do Mercado Dutoviário Norte-Americano**. E&G Economia e Gestão, Belo Horizonte, v. 16, n. 45, 2016.
- [14] BBC, **Greve dos Caminhoneiros: A Cronologia dos 10 dias que Pararam o Brasil**. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-44302137>>. Acesso em 15 nov 2019.
- [15] Notícias Agrícolas. **Abastecida por trem, Bauru não fica sem gasolina e diesel**. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/logistica/214643-no-estado-abastecida-por-trem-bauru-nao-fica-sem-gasolina-e-diesel.html#.Xc9Oi1dKjIU>>. Acesso em: 15 nov 2019
- [16] Petrobras. **Diesel - Composição de Preços ao Consumidor**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/composicao-de-precos-de-venda-ao-consumidor/diesel/>>. Acesso em: 15 nov 2019.
- [17] IBGE, **Paulínia (SP)**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/paulinia.html>>. Acesso em: 30 out 2019.
- [18] Boaretto, F. D.; **Distribuição de Combustíveis - Caracterização do Pool Ferroviário de Paulínia**. Trabalho de iniciação científica, USP, Piracicaba, 2011.
- [19] Refinaria de Paulínia. **Petrobras**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/refinaria-de-paulinia-replan.htm>>. Acesso em: 25 out 2019.
- [20] Prof. Marcos Villela Barcza, **Refino de Petróleo**. Disponível em: <<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/1285870/313/Refino%20do%20Petroleo.pdf>>. Acesso em: 30 out 2019.
- [21] Faschim, M.A.; Al-Shafar, T.A.; Elkilani, A.S.; **Fundamentals of Petroleum Refining**. 1º

ed. Editora Elsevier, Khaldeya, 2010.

- [22] IBGE, **Bauru (SP)**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/bauru/panorama>>. Acesso em: 1 nov. 2019.
- [23] Estações Ferroviárias do Brasil, **Bauru**. Disponível em: <<https://www.estacoesferroviarias.com.br/b/bauru.htm>>. Acesso em: 1 nov. 2019.
- [24] Hermoso, T. O.; **Praça Comercial em Bauru-SP**. Trabalho de Conclusão de Curso para graduação em arquitetura e urbanismo, UNESP, Presidente Prudente, 2015.
- [25] Lopes, M. V. T.; **Estado, Transportes e Desenvolvimento Regional – A “Era Rodoviária” em Minas Gerais, 1940 – 1980**. Dissertação de Mestrado em Economia, UFMG, Belo Horizonte, 2015.
- [26] Laurindo, C.; **Análise da Dependência da Economia Brasileira ao Modal de Transporte Rodoviário**. Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Econômicas, Unisul, Blumenau, 2019.
- [27] Barreto, R. C. P.; Ribeiro, A. J. P.; **Logística no Brasil: Uma análise do Panorama dos Modais Rodoviários no Cenário Nacional Demonstrando as Vantagens e Desvantagens das Referidas Modalidades**. Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, v. 5, n. 3, p.145-176, 2020.
- [28] IPEA; **Logística e Transportes no Brasil: Uma Análise do Programa de Investimentos 2013-2017 em Rodovias e Ferrovias**. Relatório, Rio de Janeiro, 2016.
- [29] Pinheiro, V.A.; **Simulação do Processo de Carregamento em uma Base Distribuidora de Combustível**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2017.
- [30] Código de Trânsito Brasileiro - CTB - Lei N° 13.281, de 4 de maio de 2016.
- [31] Ghirardello, N.; **À beira da linha: formações urbanas da Noroeste Paulista** [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2002. 235 p. ISBN 85-7139-392-3.
- [32] Airoidi, G. F.; **A Utilização do Transporte Multimodal Como Meio de Reduzir Custos Logísticos: Estudo de Caso em uma Empresa Alimentícia**. Trabalho de Conclusão de

Curso para graduação em engenharia de produção, Univem, Marília, 2014.

- [33] Confederação Nacional dos Transportes. **Transporte em Números - Dezembro de 2019**. Brasília, CNT, 2019.
- [34] Greenbier Maxion. **Vagão Tanque TCT**. Disponível em: <<http://gbmx.com.br/negocios/vagao-tanque-tct/>>. Acesso em 12 jun. 2020.
- [35] Abifer, **ANTT: Velocidade Média de Transporte de Trem não Sai do Lugar**. Disponível em: <<https://abifer.org.br/antt-velocidade-media-de-transporte-de-trem-nao-sai-do-lugar/>>. Acesso em 14 jun. 2020.
- [36] Viana, V. C.; **Desenvolvimento de Metodologia de Análise Quantitativa de Risco para Dutos de Petróleo e Derivados**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFPE, Recife, 2011.
- [37] Pereira, M.A.; Lendzion, E; **Apostila de Sistemas de Transportes**. UFPR, Curitiba, 2013.
- [38] Albuquerque, S. M.; **Ferrovias: Aspectos Técnicos de Projeto**. Trabalho de Conclusão de Curso, ITA, São José dos Campos, 2011.
- [39] DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transporte**. Manual Técnico, v.10, 2017.
- [40] Eler, R.A.G.; Junior, W.C.S.; Curi, M.L.C.; **Custo do Transporte de Carga no Brasil: Rodoviário versus Ferroviário**. Journal of Transport Literature, v.5, n.1, p.50-64, 2011.
- [41] Pharris T.C.; Kolpa, R.L.; **Overview of the Design, Construction, and Operation of Interstate Liquid Petroleum Pipelines**. Argonne National Laboratory, 2007.
- [42] Liu, H.; Noble, J.; Zuniga, R.; Wu, J.; 1995. **Economics Analysis of Coal and Log Pipeline Transportation of Coal**. Capsule Pipeline Research Center (CPRC); N. 95-1, University of Missouri, Columbia, USA, 1995.
- [43] Freitas, L.C.; Marques, G.M.; Silva, M.L.; Machado, R.R.; Machado, C.C.; **Estudo comparativo envolvendo três métodos de cálculo de custo operacional do caminhão bitrem**. R. Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.855-863, 2004.



- [44] Kruger, S.D.; Solivo, C.; Diel, F.J.; **Análise da formação de custos logísticos entre rotas de transportes de uma Cooperativa do Oeste Catarinense**. XXV Congresso Brasileiro de Custos, Vitória, 2018.
- [45] Cordeiro, M.C.; Rodrigues, L.M.; Maia, A.M.; Marujo, L.; **Caminhos para a eficiência energética no transporte rodoviário de caminhões**. XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Maceió, 2018.
- [46] Blog Sansuy, **Afinal, como calcular o valor do IPVA para caminhões**. Disponível em: <<https://blog.sansuy.com.br/valor-do-ipva-para-caminhoes/>>. Acesso em 6 jan. 2020.
- [47] Seguradora Líder. **Seguro DPVAT: Saiba Quanto Pagar**. Disponível em: <<https://www.seguradoralider.com.br/Pages/seguro-dpvat-calendario-tabela.aspx>>. Acesso em 6 jan. 2020.
- [48] Preço dos Combustíveis. **Paulínia**. Disponível em: <<https://precodoscombustiveis.com.br/pt-BR/city/Brasil/Sao-Paulo/Paulinia/3678>>. Acesso em: 5 jan. 2021.
- [49] Qualp. **Rota entre Paulínia e Bauru**. Disponível em: <<https://qualp.com.br/>>. Acesso em 5 jan. 2021.
- [50] Mercedes-Benz. **Actros 2546**. Disponível em: <<https://mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/actros/dados-tecnicos/2020/actros-2546-6x2-plataforma.pdf>>. Acesso em 24 jan. 2021.
- [51] Tabela FIPE, **Código FIPE 509281-7**. Disponível em: <<https://www.tabelafipebrasil.com/FIPE/509281-7>>. Acesso em 24 jan 2021.
- [52] Gattuso, D.; Restuccia, A.; **A tool for railway transport cost evaluation**. Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 111, p. 549-558, 2014.
- [53] ANP. **Painel Dinâmico**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMGM0NDhhMTUtMjQwZi00N2RILTk1M2UtYjYkxZTIkNzY1YzE5liwidCI6IjQ0OTI0mNGZmLTl0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzYkxMyJ9>>. Acesso em: 11 jan. 2021.
- [54] Brasil Ferroviário, **Cargos na Ferrovia**. Disponível em:

<<https://www.brasilferroviario.com.br/cargos-na-ferrovia/>>. Acesso em 12 jan. 2020.

- [55] Amicis, M.; **Proposta de método para determinar a frota de material rodante de uma ferrovia de via singela na fase de projeto com o auxílio da simulação dinâmica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transporte, UFC, Fortaleza, 2018.
- [56] Coelho, C.W.; **Transporte dutoviário: Características diante do sistema viário brasileiro**. Trabalho de Conclusão de Curso, UNIVALI, Itajaí, 2009.
- [57] Kneale, R.F.; **Transportation through pipelines of oil and other viscous liquids. Proceedings of the Victorian Institute of Engineers**, n. 6, 1939.
- [58] Marufuzzaman, M.; [Ekşioğlu](#), S.D.; Hernandez, R.; **Truck versus pipeline transportation cost analysis of wastewater sludge**. Transportation Research Part A: Policy and Practice, v. 74, p. 14-30, 2015.
- [59] NG Solar. **Preço da energia elétrica CPFL 2021**. Disponível em: <[https://www.ngsolar.com.br/single-post/preco-kwh-cpfl#:~:text=Com%20o%20reajuste%20de%202020,reduzir%20sua%20conta%20de%20luz!](https://www.ngsolar.com.br/single-post/preco-kwh-cpfl#:~:text=Com%20o%20reajuste%20de%202020,reduzir%20sua%20conta%20de%20luz!>)>. Acesso em: 22 jan. 2021.
- [60] Abbasi, E.; Garousi, V.; **An MILP-based formulation for minimizing pumping energy costs of oil pipelines: Beneficial to both the environment and pipeline companies**. Energy Systems, v. 1, n. 4, p. 393-416, 2010.
- [61] Global Technology and Engeneering. **6 schedule 40 carbon steel pipe**. Disponível em: <<https://www.globaltecheng.com/ProductCart/pc/6-Schedule-40-Carbon-Steel-Pipe-p4626.htm>>. Acesso em: 22 jan. 2021.
- [62] Oliveira, F. L. C.; **Proposta de um método para revisão dos tempos padrão de ciclo de produção na operação ferroviária**. Trabalho de Conclusão de Curso, UFJF, Juiz de Fora, 2007.
- [63] Dorneles, S.D.; **Análise do Tempo de retorno de investimento na construção de pátios para aumento de capacidade na Ferrovia Tereza Cristina (FTC)**. Trabalho de Conclusão de Curso, UFSC, Florianópolis, 2018.

